昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, February 2008, 51(2):227 – 233 ISSN 0454-6296

转 Bt 基因玉米 Bt11 花粉对玉米螟赤眼蜂繁殖和存活的影响

吴 研[1,2],王振营[1,*],何康来[1],白树雄[1],赵长山[2]

(1 中国农业科学院植物保护研究所 植物病虫害生物学国家重点实验室,北京 100094,
2 东北农业大学农学院,哈尔滨 155100)

摘要:在室内评价了表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的转基因抗虫玉米 Bt11 花粉作为食物对玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* 雌蜂寿命、繁殖力、子代羽化数和性比的影响。结果显示,Bt11 玉米花粉中含有 115.13 ± 7.29 ng/g FW Cry1Ab 杀虫蛋白。饲喂水 + Bt 玉米花粉和水 + 对照玉米花粉的雌蜂寿命、繁殖力和子代羽化数明显高于只提供水的处理,但性比没有显著差异。饲喂 10%蜂蜜水的雌蜂寿命、繁殖力和子代羽化数与饲喂 10%蜂蜜水 + Bt 玉米或 10%蜂蜜水 + 对照玉米花粉的处理雌蜂相似,没有显著差异。饲喂水 + 玉米花粉和只提供水的各处理的寿命、繁殖力和子代羽化数均显著低于蜂蜜水 + 玉米花粉和只提供蜂蜜水的各个处理,但性比显著高。饲喂水 + Bt 玉米花粉与水 + 对照玉米花粉之间以及蜂蜜水 + Bt 玉米花粉与蜂蜜水 + 对照玉米花粉之间的寿命、繁殖力和子代羽化数没有显著差异。由此得出结论,同只提供水相比,玉米花粉可以提高玉米螟赤眼蜂的寿命和繁殖力。表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的 Bt11 玉米花粉对玉米螟赤眼蜂的寿命、繁殖力、子代羽化数和性比无不利影响。

关键词:Bt 玉米;花粉;Cry1Ab;玉米螟赤眼蜂;寿命;繁殖力

中图分类号: **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2008)02-0227-07

Effect of transgenic Bt corn (event Bt11) pollen expressing Cry1Ab toxin on longevity and fecundity of *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in the laboratory

WU Yan[1,2], WANG Zhen-Ying[1,*], HE Kang-Lai[1], BAI Shu-Xiong[1], ZHAO Chang-Shan[2] (1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094; 2. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin 155100, China)

Abstract: The effect of transgenic Bt corn pollen expressing Cry1Ab toxin (event Bt 11) as a diet on longevity and fecundity of *Trichogramma ostriniae* Chen *et* Pang (Hymenoptera: Trichogrammatidae) were assessed in the laboratory. The results showed that the amount of Cry1Ab toxin detected in Bt corn pollen was 115.13 ± 7.29 ng/g fresh weight by ELISA method. Females fed on suspension of pollen of transgenic Bt corn or non-Bt corn in water survived for a significantly longer time, parasitized more host eggs, and emerged more offsprings than those fed on water alone, but no significant difference in sex ratio of offspring was observed. The longevity of females fed on 10% honey alone was similar to those fed on suspension of pollen of transgenic Bt corn or non-Bt corn in 10% honey without significant differences in fecundity, number of progeny emerged among the treatments. No significant differences in longevity, number of parasitized eggs, number of progeny emerged and the offspring sex ratio were observed between the females feeding on pollen of Bt corn and non-Bt corn, and this was also shown in experiments with suspension of 10% honey and with water. It was so concluded that corn pollen in water increased the reproduction and survival of *T. ostriniae* females compared to water alone;

基金项目:国家自然科学基金项目(30370967);国家'973'项目(2001CB109004)

作者简介:吴研,女,1979 年生,黑龙江人,硕士,研究方向为转基因生物安全,E-mail:sunfloweryann@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.:010-62815945;E-mail:zywang@ippcaas.cn

收稿日期 Received:2007-05-31;接受日期 Accepted:2007-12-20

corn pollen of event Bt 11 expressing Cry1Ab toxin had no adverse effect on *T*. *ostriniae*.

Key words: Bt corn; pollen; Cry1Ab; *Trichogramma ostriniae*; longevity; fecundity

亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* (Guenée)是我国玉米生产上最重要的害虫。玉米在不同生育期受不同世代玉米螟为害,在玉米心叶期取食叶肉或蛀食未展开心叶,造成'花叶";抽雄后钻蛀茎杆,使雌穗发育受阻而减产,如蛀孔处遇风吹折,则减产更严重。幼虫在穗期则直接蛀食雌穗、嫩粒,造成籽粒缺损、霉烂,品质降低。每年因亚洲玉米螟的为害造成的产量损失为600万到900万吨(He *et al*.,2003)。在我国人工释放赤眼蜂防治亚洲玉米螟是一项重要的综合防治技术,2005年应用面积为200万 hm^2 (Wang *et al*.,2005)。玉米螟赤眼蜂 *Trichogramma ostriniae* Pang *et* Chen 是我国亚洲玉米螟优势卵寄生蜂,对玉米螟种群起着重要的控制作用(张荆等,1990),已被引入北美用于欧洲玉米螟 *Ostrinia nubialis* (Hübner)的防治试验,并取得良好的结果(Wang *et al*.,1999;Hoffmann *et al*.,2002)。

表达来源于苏云金杆菌 *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab 杀虫蛋白的转基因玉米对欧洲玉米螟具有很好的控制作用(Ostlie *et al*.,1997),可明显减轻玉米穗腐病的发生,降低玉米籽粒中的霉菌毒素,提高品质(Munkvold *et al*.,1999)。Bt 玉米对亚洲玉米螟也有很好的控制效果(He *et al*.,2003;王冬妍等,2004)。到2006年世界上已有12个国家批准Bt玉米的商业化种植,种植面积达252万 hm^2 (James,2006)。我国自主研发的转Bt基因已进入田间释放阶段。国外公司研发的Bt玉米也先后被批准在我国进行环境释放,有的已进入生产性试验阶段。

Losey 等(1999)发表了抗鳞翅目害虫的Bt玉米花粉对帝王斑蝶 *Danaus plexippus* 有潜在的风险后,转基因抗虫作物花粉对非靶标生物的影响引起广泛的关注。尽管进一步的研究表明目前商业化的Bt玉米对帝王斑蝶种群的影响微乎其微(Hellmich *et al*.,2001;Shelton and Sears,2001),但转Bt基因作物花粉是否对非靶标生物有不利影响的争论一直没有停止(Zangerl *et al*.,2001;Mattila *et al*.,2005;Lang and Vojtech,2006)。

玉米花粉可以作为赤眼蜂的食物来源(Zhang *et al*.,2004)。玉米吐丝散粉期与亚洲玉米螟穗期世代的产卵高峰期相遇,此时也是玉米螟赤眼蜂最活跃的时期。本研究的目的是确定玉米螟赤眼蜂取食表达Cry1Ab杀虫蛋白Bt11玉米花粉后,是否会对其寿命、繁殖、羽化和性比产生不利影响,为进一步明确转基因抗虫玉米对非靶标生物的影响提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

玉米螟赤眼蜂由中国农业科学院植物保护研究所玉米害虫组提供,采自田间玉米螟寄生卵,在实验室用米蛾 *Corcyra cephalonica* 卵持续繁殖20余代。试验开始前3代,用新鲜米蛾卵在(26±1)℃,RH:70%~80%,光周期16L:8D条件下繁育,接蜂时间为24 h,种群数量维持在5 000~10 000头。随机选取羽化<24 h、已交配且无产卵经历的雌蜂供试。

供试寄主为米蛾卵,取自中国农业科学院植物保护研究所玉米害虫组用麦麸+大豆粉饲养的试验种群。每日收集当日的米蛾卵,置于4℃下贮存,2天内用用做试验。使用前距30 W紫外灯40 cm照射40 min,杀死其胚胎。

1.2 供试玉米花粉

供试Bt和非转基因对照玉米花粉均采自北京中国农业科学院植物保护研究所农场试验田。玉米品种为先正达公司的转Cry1Ab基因的Bt11及其非转基因对照品种。

在玉米散粉前,用授粉袋将雄穗套住,散粉盛期采集玉米花粉。采集的花粉用200 μm的分样筛(浙江上虞道圩纱筛厂)过筛,除去花药等杂质,用硫酸纸包装成小份,置于-20℃保存20天内待用(Jesse and Obrycki,2000)。

1.3 饲喂处理

参照耿金虎等(2005)的方法进行。供试食物为水+普通玉米花粉、水+Bt玉米花粉、10%蜂蜜水+普通玉米花粉、10%蜂蜜水+Bt玉米花粉、10%蜂蜜水和水,共6个处理;分别用W+P,W+BtP,H+P,H+BtP,H和W表示。除水和10%的蜂蜜处理外,各处理方法为分别称取Bt11和对照玉米花粉20 mg,加1 mL水或10%蜂蜜水配成配成悬浮液。

1.4 测试方法

将单头雌蜂引入试管(Φ0.9 cm×15 cm)中,用棉球封口。供以一方形纸片(1.0 cm×0.7 cm),其上用双面胶带(宽2 mm)平行间距0.4 cm,粘米蛾卵

约 150 粒和一小片方形（0.3 cm × 0.8 cm）滤纸（作为供给食物的底物），作成卵卡，使用前用小毛笔扫去纸片表面未粘牢的米蛾卵。用微量移液器分别吸取当日配制的新鲜上述处理 3 μL，均匀点涂于滤纸片上。3 μL 的食物量中所含花粉粒数约为 300 ~ 700 粒。在试管上标记每头雌蜂的序号。每 24 h 更换一次纸片，观察并记录每头雌蜂的寿命。将更换下来的纸片置于相同的试验条件下培养。5 天后，当寄生卵变黑时，记录寄生卵数。15 天后，调查记录子代羽化数量和子代雌、雄蜂数。每种食物处理均为 35 头。试验在（25 ± 1）℃，RH 60% ~ 80%，16 L∶8 D 的条件下进行。

1.5　Bt 玉米花粉中 Cry1Ab 杀虫蛋白含量的测定

采用酶联免疫 ELISA（enzyme immunosorbent assay）方法测定。试剂盒（Quantiplate ELISA kit for Bt Cry1Ab/Cry1Ac）由美国 Agdia 公司生产。具体操作步骤：（1）准备样品：用 1/10 000 电子天平（ESJ60-4 型，沈阳龙腾电子有限公司）称取 0.1 g 花粉样品放入研钵中，加入液氮充分研磨，再加入 1 mL 1 × PBST 缓冲液继续研磨，然后转入 1.5 mL 离心管中，再用超声波破碎仪（ZY-92 Ⅱ 型，宁波新芝科技股份有限公司）进一步破碎，38% Hz 破碎 2 min，振 8 s，停 4 s。4℃，12 000 r/min 离心 8 min，取上清液，4℃保存待测；（2）点样：分别取样品上清液、5 个不同梯度的 Bt 标准蛋白（阳性对照）和 PBST（阴性对照）100 μL 加入同一酶标板内（重复 6 次），每孔加入 100 μL TMB 酶标记物，4℃过夜；（3）洗板；（4）加入 100 μL TMB 底物；（5）在酶标仪（BIO-TEK，680）650 nm 波长下读数；（6）采用 Bradford 法测定总可溶性蛋白含量，并计算 Cry1Ab 杀虫蛋白占总可溶性蛋白的比率。

1.6　数据分析

为了减少试验误差，不同处理的雌蜂寿命、产卵量和子代羽化数值用对数 lg (x + 1)转换，性比数值用反正弦转换。所有转换值用进行方差分析（ANOVA LSD 测验）（SAS Institute Inc.，1989）。

2　结果与分析

2.1　Bt11 玉米花粉中 Cry1Ab 杀虫蛋白的含量

ELISA 检测结果表明，Bt11 玉米花粉中能检测到少量 Bt 蛋白，在对照玉米花粉中均没有检测到 Bt 蛋白。Bt11 品种花粉中 Cry1Ab 蛋白占总蛋白含量为 115.13 ± 7.29 ng/gFW。

2.2　Bt 11 花粉对玉米螟赤眼蜂寿命的影响

表 1 结果表明，不同食物处理对玉米螟赤眼蜂的寿命影响差异显著（$F = 163.68$；$df = 5, 190$；$P < 0.0001$）。10% 蜂蜜水（H，10.4 ± 3.4 d）、10% 蜂蜜水 + Bt11 花粉（H + BtP，9.0 ± 2.1 d）和 10% 蜂蜜水 + 对照花粉（H + P，9.0 ± 2.3 d）处理的雌蜂寿命显著长于水（W， 1.8 ± 0.9 d）、水 + Bt11 花粉（W + BtP，2.4 ± 0.8 d）和水 + 对照花粉（W + P，2.1 ± 0.9 d）处理的雌蜂寿命。10% 蜂蜜水及蜂蜜水与 Bt11 或对照玉米花粉的悬浮液处理间的寿命没有显著差异差异，但水与水与 Bt11 玉米花粉和水与对照玉米花粉处理的雌蜂寿命差异显著，而水 + Bt11 花粉和水 + 对照玉米花粉之间的寿命没有显著差异。说明蜂蜜水能显著提高赤眼蜂的寿命。与只提供水相比，水 + Bt11 花粉和水 + 对照玉米花粉可以显著延长赤眼蜂的寿命。Bt11 玉米花粉和对照玉米花粉处理之间的赤眼蜂寿命没有差异，说明 Bt 玉米花粉对玉米螟赤眼蜂的寿命没有不利影响。

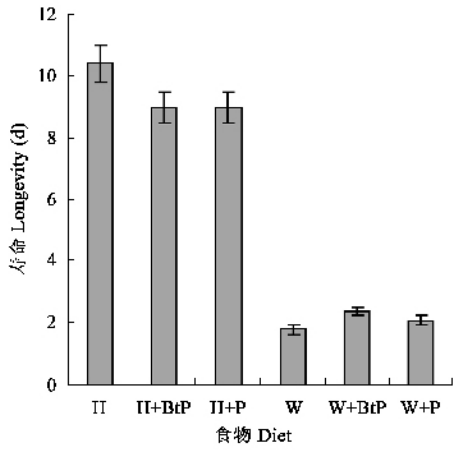
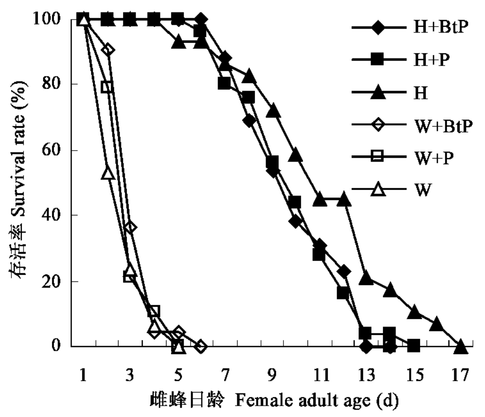


图 1　不同食物饲喂对玉米螟赤眼蜂的寿命的影响

Fig. 1　Effect of different diets on longevity of *Trichogramma ostriniae* Chen *et* Pang

H：蜂蜜水 Honey only；H + BtP：蜂蜜水 + Bt11 花粉悬浮液 Honey with Bt corn pollen；H + P：蜂蜜水 + 对照玉米花粉悬浮液 Honey with non-Bt corn pollen；W：水 Water only；W + BtP：水 + Bt11 花粉悬浮液 Water with Bt corn pollen；W + P：水 + 对照玉米花粉悬浮液 Water with non-Bt corn pollen. 下同 The same below。柱上字母不同表示差异显著（$P < 0.05$）Columns with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

从逐日存活率来看（图 2），蜂蜜水以及蜂蜜水 + 花粉处理玉米螟赤眼蜂的寿命显著高于水以及水 + 花粉处理。水、水 + Bt11 花粉和水 + 对照玉米花粉处理玉米螟赤眼蜂雌蜂的存活率第 2 天分别为降为 52.94%，90.91% 和 78.95%，然后迅速下降，到第 4 天时这 3 种处理玉米螟赤眼蜂的存活率分别仅为 5.89%，4.55% 和 10.52%，到第 5 天时全部死



2 不同食物饲喂处理玉米螟赤眼蜂的逐日存活率(%)

Fig. 2 Daily survival rate (%) of *Trichogramma ostriniae* adult females fed on different diets

亡。而蜂蜜水、蜂蜜水 + Bt11 花粉和蜂蜜水 + 对照玉米花粉处理玉米螟赤眼蜂的存活率均为 100%,分别在第 17,11 和 13 天全部死亡。

2.3 Bt11 花粉对玉米螟赤眼蜂繁殖的影响

不同食物处理的玉米螟赤眼蜂的寄生卵数、子代羽化数和性比等繁殖特征数据列于表 1. 结果表明,玉米螟赤眼蜂雌蜂经不同食物饲喂处理其平均累积寄生卵粒数($F = 49.26$;$df = 5,190$;$P < 0.0001$)、子代羽化数($F = 46.64$;$df = 5,190$;$P < 0.0001$)和性比($F = 15.86$;$df = 5,190$;$P < 0.0001$)存在显著差异,蜂蜜水处理的平均累积寄生卵粒数最高,其次是蜂蜜水 + Bt11 花粉和蜂蜜水 + 对照玉米花粉,均比水以及水与玉米花粉处理高出 1 倍多。水 + Bt11 花粉以及水 + 对照玉米花粉饲喂处理的玉米螟赤眼蜂平均累积寄生卵粒数和子代羽化数均显著高于只提供水的处理,说明与只提供水相比,玉米花粉能显著提高玉米螟赤眼蜂的子代数。无论是蜂蜜水 + Bt11 花粉和蜂蜜水 + 对照玉米花粉处理之间,还是水 + Bt11 花粉和水 + 对照玉米花粉处理之间,平均累积寄生卵数和子代羽化数均没有显著差异,说明 Bt11 玉米花粉对玉米螟赤眼蜂的繁殖没有不利影响。

从逐日寄生卵粒数来看,各种食物饲喂处理的玉米螟赤眼蜂雌蜂均在羽化当日达到其产卵高峰,第 2 天开始急剧下降,特别是水以及水 + 玉米花粉各处理。蜂蜜水以及蜂蜜水 + 玉米花粉各处理第 2 天以后寄生卵数量下降速度缓慢(图 3:A)。各处理间逐日子代羽化数与各自的逐日寄生卵粒数趋势一致(图 3:B)

表 1 不同食物饲喂处理的玉米螟赤眼蜂寄生卵数、子代羽化数和性比

Table 1 Number of host eggs parasitized, number of progeny emerged and sex ratios of progeny from *T. ostriniae* females fed on different diets

食物 Diet	寄生卵数(粒) Number of parasitized eggs	子代羽化数(头) Number of progeny emerged	性比(雌:雄) Sex ratio (Female/male)
H	159.5 ± 38.0 a	152.3 ± 36.4 a	2.1 ± 1.3 c
H + BtP	139.5 ± 44.1 a	130.2 ± 42.1 a	3.3 ± 2.8 b
H + BP	132.6 ± 36.0 a	125.2 ± 34.5 a	2.9 ± 1.5 b
W	51.0 ± 21.2 c	48.3 ± 20.4 c	4.4 ± 1.8 a
W + BtP	63.0 ± 19.8 b	59.8 ± 19.2 b	4.2 ± 1.5 a
W + P	60.2 ± 18.3 b	57.6 ± 17.7 b	5.6 ± 3.5 a

表中数据为平均数 ± *SD*. 同一列数据后字母相同,表示差异不显著,字母不同表示差异显著($P < 0.05$) Data are mean ± SD. Means in each column followed by the same letter were not significantly different at $P < 0.05$ by ANOVA.

不同食物饲喂处理的玉米螟赤眼蜂子代性比差异显著。水(4.4 ± 1.8)、水 + Bt11 玉米花粉(4.2 ± 1.5)和水 + 对照玉米花粉处理(5.6 ± 3.5)子代性比显著高于蜂蜜水(2.1 ± 1.3)、水 + Bt11 玉米花粉(3.3 ± 2.8)和水 + 对照玉米花粉(2.9 ± 1.5)处理的性比($F = 15.86$;$df = 5,190$;$P < 0.0001$),而在蜂蜜水及其两种玉米花粉悬浮液处理之间或水及其与两种玉米花粉悬浮液处理之间的性比没有差异(表 1)各种食物饲喂处理都是在第一天性比最高,然后总体上性比呈下降趋势,特别是蜂蜜水及其两种玉米花粉处理,分别在第 6 天和第 7 天后出现以产雄为主,性比低于 1(图 3:C)

3 讨论

转基因抗虫作物对天敌昆虫和其它非靶标昆虫的潜在影响研究近几年来日益受到关注(O'Callaghan *et al*., 2005;Romeis *et al*., 2006)。特别是这些转基因抗虫作物正在成为害虫综合治理重要措施(Sétamou *et al*., 2002)。

赤眼蜂属卵寄生蜂是许多农林害虫的重要天敌,成蜂取食植物花粉、花蜜或寄生卵来获取营养(Wellinga and Wysoki, 1989),可以提高寿命(Shearer and Atanassov, 2004),繁殖力(Somchoudhury and Dutt, 1988;Shearer and Atanassov, 2004)和飞行能力(Forsse *et al*., 1992),在这个过程中转基因抗虫植物有可能对赤眼蜂产生影响。玉米螟赤眼蜂是我国亚洲玉米螟的优势卵寄生蜂(张荆等, 1990),也是防治欧洲玉米螟的优良的候选寄生蜂种(Hassan and

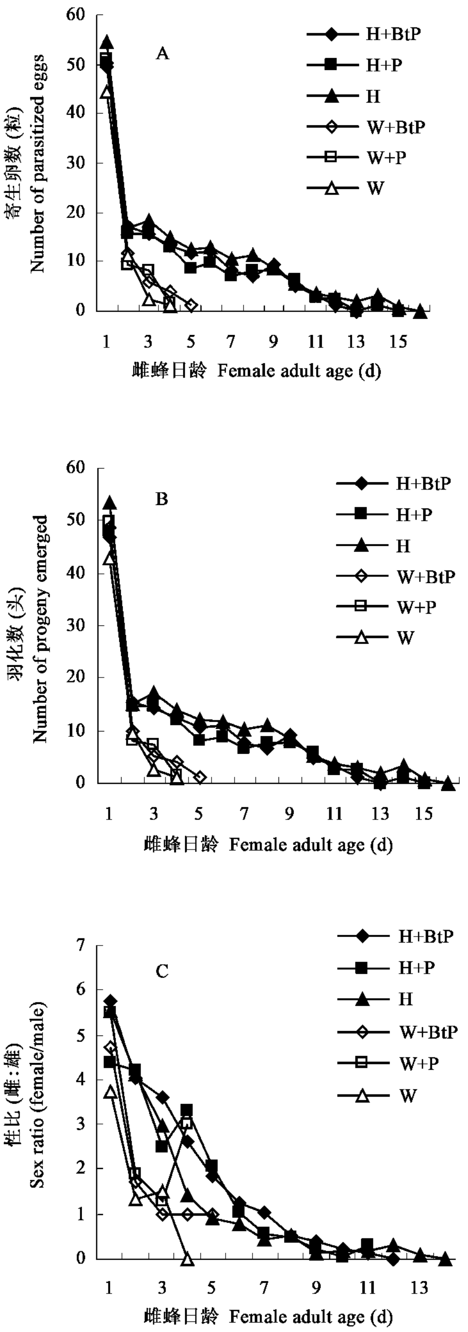


图 3　Bt11 花粉饲喂处理玉米螟赤眼蜂的逐日寄生卵数（A）、逐日羽化数（B）和逐日子代性比（C）

Fig. 3　Daily number of host eggs parasitized (A), daily number of progeny (B), and daily sex ratio of progeny emerged from parasitized host eggs (C) in treatments of *Trichogramma ostriniae* females fed on different diets

Guo，1991；Wang *et al*.，1999；Hoffmann *et al*.，2002；Wright *et al*.，2002）。虽然 Bt 玉米尚未批准在中国商业化种植，但已在实验室和田间条件下对 Bt 玉米对靶标害虫的控制效果和对非靶标昆虫的潜在风险进行了评估（He *et al*.，2003；王冬妍等，2004；王振营等，2005a，2005b；张永军等，2005；常雪艳等，2006；田岩等，2006；李丽莉等，2007）。Zhang 等（2004）研究表明为甘蓝夜蛾赤眼蜂 *Trichogramma brassicae* 提供玉米花粉＋水作为食物与只提供水的处理相比，显著地提高了其寿命和生殖力，而以花粉＋蜂蜜水作为食物与只提供蜂蜜水的赤眼蜂寿命和生殖力无显著显著。耿金虎等（2005）证实拟澳洲赤眼蜂 *T. confusum* 雌蜂取食棉花（常规棉和转 *Cry1Ac* ＋ *CpTI* 棉）花粉＋水悬浮液与不饲喂和只饲喂水相比，对其寿命和寄生卵数无显著影响，但饲喂棉花花粉＋10%蜂蜜水悬浮液可显著提高其寿命和寄生卵数。我们的结果表明，Bt 玉米 Bt11 的花粉对玉米螟赤眼蜂的寿命、繁殖以及子代性比没有不利影响，也观察到饲喂水＋玉米花粉的玉米螟赤眼蜂，同只提供水的处理相比，显著提高了其寿命和繁殖力，但蜂蜜水＋玉米花粉处理与蜂蜜水处理之间，寿命和繁殖力没有显著差异。Rohi 等（2002）报道，花粉对 *T. bourarachae* 没有任何营养价值。造成这些不同结果的原因可能与赤眼蜂种类、花粉来源以及花粉在水或蜂蜜水中的浓度有关。Hassan 和 Krieg（1975）用混有 Bt 制剂的蜂蜜琼脂饲喂卷叶蛾赤眼蜂 *T. cacoeciae* 雌蜂后，对其寄生能力没有不利影响。广赤眼蜂 *T. richogramma evanescens* 取食含有 500 μg Bt 制剂的蜂蜜溶液 4～5 天后对其生活史、寄生能力没有影响（Salama and Zaki，1985）。*T. pratissolii* 和短管赤眼蜂 *T. pretiosum* 2 种赤眼蜂在取食含有 6 种不同 Bt 制剂的蜂蜜溶液后，对其寿命和繁殖力没有不利影响（Polanczyk *et al*.，2006）。田间调查也表明，采自 Bt 玉米和非转基因玉米叶片上的欧洲玉米螟卵块被甘蓝夜蛾赤眼的寄生率、羽化数、寿命和死亡率没有明显差异（Manachini and Lozzia，2004）。

大多数赤眼蜂种类被认为是前携卵式昆虫，其潜在生殖力不可能由食物的供给而增加，但是寿命长的赤眼蜂有更多的机会产出体内已经成熟的卵（Fleury and Bouletréau，1993；Hegazi and Khafagi，1998）。饲喂蜂蜜水或糖水的微小赤眼蜂 *T. minutum*（Leatemia *et al*.，1995），或饲喂蜂蜜水拟澳洲赤眼蜂（耿金虎等，2005），寿命长，繁殖力高，子代性比低，而不提供食物的赤眼蜂寿命短，繁殖力低，子代性比高。我们的研究结果与之相似，多数玉米螟赤眼蜂雌蜂死亡前仍持续产卵寄生寄主卵，不同食物饲喂处理条件下的玉米螟赤眼蜂子代性比均首日为最高，之后性比逐渐降低。水以及水＋玉米花粉各处理雌蜂寿命短，繁殖力低，子代雌雄比高，而

蜂蜜水以及蜂蜜水 + 玉米花粉各处理寿命长,繁殖力高,但性比低,第 6 天后则以产雄为主(雌∶雄 < 1)。

我们的初步研究结果表明,表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的 Bt11 玉米花粉对玉米螟赤眼蜂的寿命、繁殖力、羽化数和性比没有显著不利影响。结果显示表达 Cry1Ab 杀虫蛋白的 Bt 玉米作为害虫综合治理的重要措施可以与赤眼蜂协同控制鳞翅目害虫。

参 考 文 献 (References)

Chang XY, He KL, Wang ZY, Bai SX, 2006. Evaluation of transgenic Bt maize for resistance to cotton ballworm. *Acta Phytophyl. Sin.*, 33: 374 – 378. [常雪艳, 何康来, 王振营, 白树雄, 2006. 转 Bt 基因玉米对棉铃虫的抗性评价. 植物保护学报, 33: 374 – 378]

Fleury F, Bouletréau M, 1993. Effects of temporary host deprivation on the reproductive potential of *Trichogramma brassicae*. *Entomol. Exp. Appl.*, 68: 203 – 210.

Forsse E, Smith SM, Bourchier RS, 1992. Flight initiation in the egg parasitoid *Trichogramma minutum*: effects of ambient temperature, mates, food and host eggs. *Entomol. Exp. Appl.*, 62: 47 – 154.

Geng JH, Shen ZR, Li ZX, Zheng L, 2005. Effect of pollen of conventional cotton and transgenic Cry1Ac + CpTI cotton on reproduction and survival of the parasitoid wasp *Trichogramma confusum* Viggiani (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Acta Ecol. Sin.*, 25: 1 575 – 1 582. [耿金虎, 沈佐锐, 李正西, 郑礼, 2005. 常规棉花粉和转 Cry1Ac + CpTI 棉花粉对拟澳洲赤眼蜂繁殖和存活的影响. 生态学报, 25: 1 575 – 1 582]

Hassan SA, Guo MF, 1991. Selection of effective strains of egg parasites of the genus *Trichogramma* (Hym., Trichogrammatidae) to control the European corn borer *Ostrinia nubilalis* Hb. (Lep., Pyralidae). *J. Appl. Entomol.*, 111: 335 – 341.

Hassan SA, Krieg A, 1975. *Bacillus thuringiensis* preparations harmless to the parasite *Trichogramma cacoeciae* (Hym.: Trichogrammatidae). *Zeit. Pflanz. Pflanz.*, 82: 515 – 521.

He KL, Wang ZY, Zhou DR, Wen LP, Song YY, Yao ZY, 2003. Evaluation of transgenic Bt corn for resistance to the Asian corn borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*, 96: 935 – 940.

Hegazi EM, Khafagi WE, 1998. Studies on three species of *Trichogramma*. Ⅲ. Comparison of longevity and fecundity of adult wasps fed on selected foods. *Alexandria J. Agri. Res.*, 43: 79 – 88.

Hellmich RL, Siegfried BD, Sears MK, Stanley-Horn DE, Daniels MJ, Mattila HR, Spencer T, Bidne KG, Lewis LC, 2001. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis* purified proteins and pollen. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98: 11 925 – 11 936.

Hoffmann MP, Wright MG, Pitcher SA, Gardner J, 2002. Inoculative releases of *Trichogramma ostriniae* for suppression of *Ostrinia nubilalis* (European corn borer) in sweet corn: field biology and population dynamics. *Biol. Control*, 25: 249 – 258.

James C, 2006. Preview: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2006. ISAAA Briefs No. 35. ISAAA, Ithaca, NY.

Jesse LCH, Obrycki JJ, 2000. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, 125: 241 – 248.

Lang A, Vojtech E, 2006. The effects of pollen consumption of transgenic Bt maize on the common swallowtail, *Papilio machaon* L. (Lepidoptera, Papilionidae). *Basic Appl. Ecol.*, 7: 296 – 306.

Leatemia JA, Laing JE, Corrigan JE, 1995. Effects of adult nutrition on longevity, fecundity, and offspring sex ratio of *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). *Can. Entomol.*, 127: 245 – 254.

Li LL, Wang ZY, He KL, Bai SX, Hua L, 2007. Effect of transgenic corn expressing *Bacillus thuringiensisi* Cry1Ab toxin on population increase of *Rhopalosiphum maidis* Fitch. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 18: 1 077 – 1 080. [李丽莉, 王振营, 何康来, 白树雄, 花蕾, 2007. 转 Bt 基因抗虫玉米对玉米蚜种群增长的影响. 应用生态学报, 18: 1 077 – 1 080]

Losey JE, Rayor LS, Carter ME, 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399: 214.

Manachini B, Lozzia GC, 2004. Studies on the effects of Bt corn expressing Cry1Ab on two parasitoids of *Ostrinia nubilalis* Hb. (Lepidoptera: Crambidae). *Bulletin-OILB/SROP*, 27: 109 – 116.

Mattila HR, Sears MK, Duan JJ, 2005. Response of *Danaus plexippus* to pollen of two new Bt corn events via laboratory bioassay. *Entomol. Exp. Appl.*, 116: 31 – 41.

Munkvold GP, Hellmich RL, Rice LG, 1999. Comparison of Fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Dis.*, 83: 130 – 138.

O′Callaghan M, Glare TR, Burgess EPJ, Malone LA, 2005. Effects of plants genetically modified for insect resistance on non-target organisms. *Ann. Rev. Ent.*, 50: 271 – 292.

Ostlie KR, Hutchison WD, Hellmich RL, 1997. Bt corn and European corn borer: long-term success through resistance management. North Central Region Extension Publication 602. University of Minnesota, St. Paul.

Polanczyk RA, Pratissoli D, Vianna UR, Oliveira RGS, Andrade GS, 2006. Interaction between natural enemies: *Trichogramma* and *Bacillus thuringiensis* in pest control. *Acta Sci. Agron.*, 28: 233 – 239.

Rohi L, Bourarach K, Chemseddine M, Pintureau B, 2002. Effet de la nourriture sur la longevite de deux Hymenopteres parasitoides oophages. *Bull. Men. Soc. Linn. Lyon*, 71: 118 – 122.

Romeis J, Meissle M, Bigler F, 2006. Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nat. Biotech.*, 24: 63 – 71.

Salama HS, Zaki FN, 1985. Biological effects of *Bacillus thuringiensis* on the egg parasitoid, *Trichogramma evanescens*. *Insect Sci. Appl.*, 6: 145 – 148.

Sas Institute Inc, 1989. SAS/STAT User's Guider. Version 6, 4th ed. Vol. 1 and 2. Cary, NC, USA

Sétamou M, Bernal JS, Legaspi JC, Mirkov TE, 2002. Parasitism and location of sugarcane borer (Lepidoptera: Pyralidae) by *Cotesia flavipes* (Hymenoptera: Braconidae) on transgenic and conventional sugarcane. *Environ. Entomol.*, 31: 1 219 – 1 225.

Shearer PW, Atanassov A, 2004. Impact of peach extrafloral nectar on key biological characteristics of *Trichogramma minutum* (Hymenoptera:

Trichogrammatidae). *J. Econ. Entomol.*, 97：789 – 792.

Shelton AM, Sears MK, 2001. The monarch butterfly controversy：scientific interpretations of a phenomenon. *Plant J.*, 27：483 – 488.

Somchoudhury AK, Dutt N, 1988. Evaluation of some flowers as a nutritional source of *Trichogramma* spp. *Indian J. Entomol.*, 50：371 – 373.

Tian Y, Zhang YJ, Wu KM, Zhao KJ, Peng YF, Guo YY, 2006. Effects of transgenic Bt-cry1Ab corn pollen on the growth, development and enzymes activity in *Apis mellifera* (L.) (Hymenoptera：Apidae). *J. Agri. Biotech.*, 14：990 – 991. [田岩，张永军，吴孔明，赵奎军，彭于发，郭予元，2006. 转 Bt-cry1Ab 玉米花粉对意大利蜜蜂生长发育及体内酶活性的影响. 农业生物技术学报，14：990 – 991]

Wang B, Ferro DN, Hosmer DW, 1999. Effectiveness of *Trichogramma ostriniae* and *T. nubilale* for controlling the European corn borer *Ostrinia nubilalis* in sweet corn. *Entomol. Exp. Appl.*, 91：297 – 303.

Wang DY, Wang ZY, He KL, Cong B, Bai SX, Wen LP, 2004. Temporal and spatial expression of Cry1Ab toxin in transgenic Bt corn and its effects on Asian corn borer. *Sci. Agri. Sin.*, 37(8)：1 155 – 1 159. [王冬妍，王振营，何康来，丛斌，白树雄，文丽萍，2004. Bt 玉米杀虫蛋白的时空表达及对亚洲玉米螟的杀虫效果. 中国农业科学，37：1 155 – 1 159]

Wang ZY, He KL, Yan S, 2005. Large-scale augementative biological control of Asian corn borer using *Trichogramma* in China：a success story. In：Mark SH ed. Proceedings of the Second International Symposium on Biological Control of Arthropods, Davos, Switzerland, 12 – 16 September, 2005. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Morgantown, West Virginia, U.S.A. 487 – 494.

Wang ZY, Wang DY, He KL, Bai SX, Cong B, 2005a, Evaluation the control effects of the transgenic *Bacillus thuringiensis* corn expressing Cry1Ab protein on the larvae of *Mythimna separate* (Walker) in laboratory. *Acta Phytophyl. Sin.*, 32(2)：153 – 157. [王振营，王冬妍，何康来，白树雄，丛斌，2005a. 转 Bt 基因玉米对粘虫的室内杀虫效果评价. 植物保护学报，32：153 – 157]

Wang ZY, Wang DY, He KL, Bai SX, Liu H, Cong B, 2005b. Effects of transgenic corn hybrids expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin on survival and growth of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Entomol. Sin.*, 48(2)：214 – 220. [王振营，王冬妍，何康来，白树雄，刘慧，丛斌，2005b. 转 Bt 基因玉米对甜菜夜蛾幼虫存活和发育的影响. 昆虫学报，48：214 – 220]

Wellinga S, Wysoki M, 1989. Preliminary investigation of food source preferences of the parasitoid *Trichogramma platneri* Nagarkatti (Hymenoptera, Trichogrammatidae). *Anz. Sch. Pflanz. Umw.*, 62(7)：133 – 135.

Wright MG, Kuhar TP, Hoffmann MP, Chenus SA, 2002. Effect of inoculative releases of *Trichogramma ostriniae* on populations of *Ostrinia nubilalis* and damage to sweet corn and field corn. *Biol. Control*, 23：149 – 155.

Zangerl AR, Mckenna D, Wraight CL, Carroll M, Ficarello P, Warner R, Berenbaum MR, 2001. Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98：11 908 – 11 912.

Zhang GR, Zimmermann O, Hassan SA, 2004. Pollen as a source of food for egg parasitoids of the genus *Trichogramma* (Hymenoptera：Trichogrammatidae). *Biocon. Sci. Technol.*, 14：201 – 209.

Zhang J, Wang JL, Cong B, Yang CC, 1990. A faunal study of *Trichogramma* species on *Ostrinia furnacalis* in China. *Chin. J. Biol. Contr.*, 6：49 – 53. [张荆，王金玲，丛斌，杨长成，1990. 我国亚洲玉米螟赤眼蜂种类及优势种的调查研究. 生物防治通报，6(2)：49 – 53]

Zhang YJ, Sun Y, Yuan HB, Wu KM, Peng YF, Guo YY, 2005. Effects of transgenic Bt-cry1Ab corn pollen on the growth and development and the activity of three metabolic enzymes in *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera：Coccinellidae). *Acta Entomol. Sin.*, 48：898 – 902. [张永军，孙毅，袁海滨，吴孔明，彭于发，郭予元，2005. 转 Bt-cry1Ab 玉米花粉对异色瓢虫生长发育及体内三种代谢酶活性的影响. 昆虫学报，48：898 – 902]

（责任编辑：袁德成）